

УДК 622.276.34

ПОДХОД К ЛОКАЛИЗАЦИИ ОСТАТОЧНЫХ ИЗВЛЕКАЕМЫХ ЗАПАСОВ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОЙ ВЫРАБОТКИ НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ УЗЕНЬ

А.Е. Ибраев, А. Кажыкенкызы, А.С. Елемесов, А.Ж. Назаралы

Актуальность выбранной темы обусловлена необходимостью повышения качества планирования геолого-технических мероприятий (далее – ГТМ) и прогнозирования основных показателей работы после ГТМ на поздней стадии разработки, что в значительной степени осложнено трудностями локализации остаточных извлекаемых запасов (далее – ОИЗ) ввиду неоднородности геологических свойств месторождения и продолжительного воздействия разработки на продуктивные залежи.

Ключевые слова: локализация ОИЗ, планирование ГТМ, интерпретация геофизических исследований (далее – ГИС), карты минерализации, комплексные карты геологии и разработки.

Актуальность проблемы

На текущий момент на месторождении Узень осложнена локализация ОИЗ ввиду длительного периода разработки (начало эксплуатации в 1965 г.). Одной из основных проблем является неравномерная выработка запасов по площади и разрезу, связанная с неоднородностью геолого-физических характеристик пород, а также нарушением системы разработки, регламентированной в проектом документе [1, с. 17]. Это в значительной степени затрудняет работы по локализации ОИЗ.

Качество локализации ОИЗ влияет на планирование, прогнозирование и успешность бурения новых скважин и ГТМ.

Планирование и прогнозирование основных показателей работы после ГТМ и бурения на основе параметров работы окружающих скважин является затрудни-

тельным. Использование соседнего фонда не во всех случаях позволяет оценить обводненность целевой скважины. Корреляция обводненности определенной скважины в зависимости от обводненности окружающих скважин отсутствует, следовательно, планирование кандидатов для ГТМ на основе показателей окружающих скважин не позволяет определить обводненность [2, с. 130]. По части скважин насыщенность по результатам интерпретации ГИС (РИГИС) не подтверждается результатами добычи. При интерпретации насыщенности по ГИС на текущий момент используется начальная минерализация пластовой воды. Отсутствие зависимости насыщенности по РИГИС с текущей обводненностью затрудняет планирование и снижает эффективность выбора целевых интервалов для перфорации в новых скважинах из бурения (рис. 1).

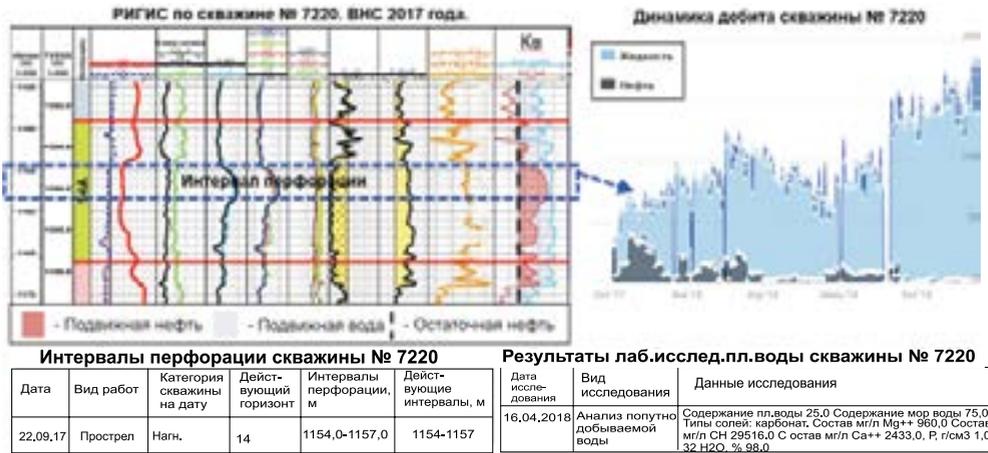


Рисунок 1. Пример сопоставления интерпретации ГИС и испытания скважины

Важная деталь, которую необходимо учитывать при локализации ОИЗ и планировании ГТМ, – это особенности геологического строения залежи. На месторождении Узень на основе данных гео-

логии и разработки выделяются группы коллекторов со значительной разницей фильтрационно-емкостных свойств (далее – ФЕС) (рис. 2).

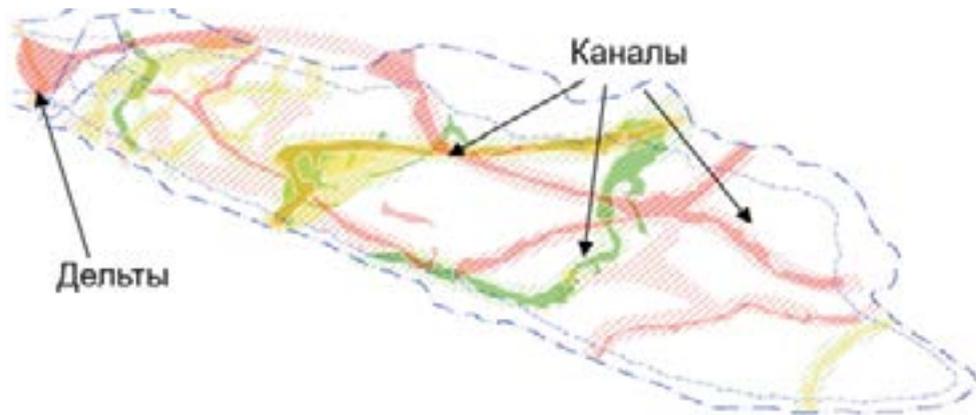


Рисунок 2. Карта выделения условий осадконакопления

Каналы и дельты характеризуются большими толщинами и улучшенными ФЕС с высокой плотностью сетки, а также более высокими значениями обводненности и выработки [3].

Зоны коллекторов с ухудшенными ФЕС на текущей стадии разработки явля-

ются наиболее перспективными в плане вовлечения ОИЗ с применением технологии гидроразрыва пласта (далее – ГРП). Пример разделения групп коллекторов на основе выделения электрофаций показан ниже (рис. 3).

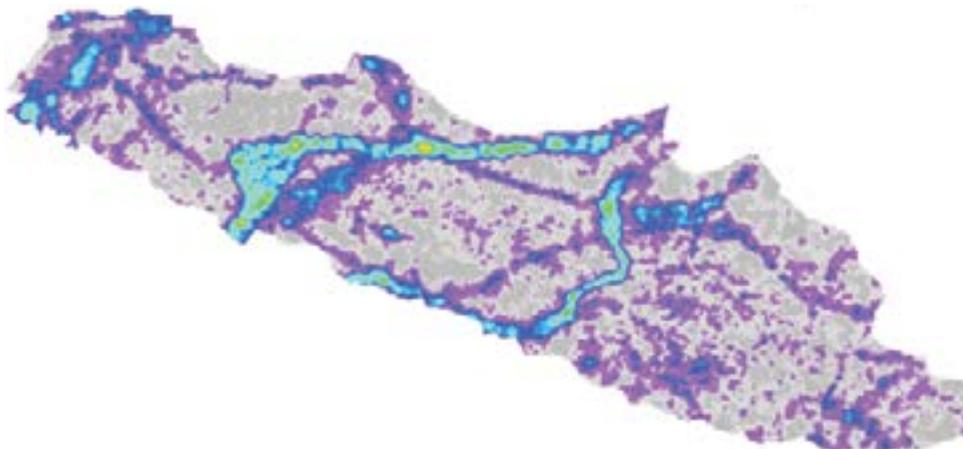


Рисунок 3. Карта распределения электрофаций

Таким образом, можно отметить, что группы коллекторов с высокими ФЕС были подвержены влиянию разработки в большей степени.

Подход к локализации ОИЗ

Построение карты выработки запасов осуществлялось с помощью двух подходов:

1. По данным РИГИС с учетом текущей минерализации пластовой воды (использовались данные РИГИС скважин из бурения последних лет (2016–2019 гг.), и информация по текущей минерализации добываемой пластовой воды).

2. Комплексные карты на основе геолого-промысловых данных (геолого-физическая характеристика пласта: группы коллекторов, ФЕС, неоднородность по вертикали, расчлененность; данные разработки: плотность сетки скважин, коэффициент вскрытия пласта перфорацией по вертикали) и карты распределения электрофаций.

Данные подходы к локализации ОИЗ были реализованы с учетом:

- Особенности геологического строения (выделения групп коллекторов на основе условий осадконакопления со значительной дифференциацией ФЕС и, как результат, разной степенью подверженности разработке).

- Технологической специфики разработки, в частности, использования в качестве агента системы поддержания пластового давления (далее – ППД) морской воды с отличной от начальной минерализацией пластовой воды более чем в 5 раз.

Локализация ОИЗ по данным РИГИС с учетом текущей минерализации пластовой воды

Учет текущей минерализации пластовой воды при интерпретации ГИС

Для расчета коэффициента водонасыщенности по уравнению Арчи замеренная минерализация пересчитана в сопротивлении пластовой воды с учетом температуры пласта по палетке (Schlumberger Chart GEN-9: Water resistivity - Temperature – Salinity relationships).

Для переинтерпретации были выбраны скважины, пробуренные в 2016–2019 гг. (всего 495 скважин). После проведения контроля качества каротажей рассчитаны коэффициенты водонасыщенности (K_b) при начальной, текущей и минимальной минерализации пластовой воды по электрической модели. Также в данной работе была приблизительно оценена прогнозная обводненность (WC) по ГИС.

Приблизительная прогнозная обводненность (WC) по ГИС рассчитывается по

следующей формуле:

$$WC \sim \frac{K_{в.подв}}{K_{в.подв} + K_{н.подв}}$$

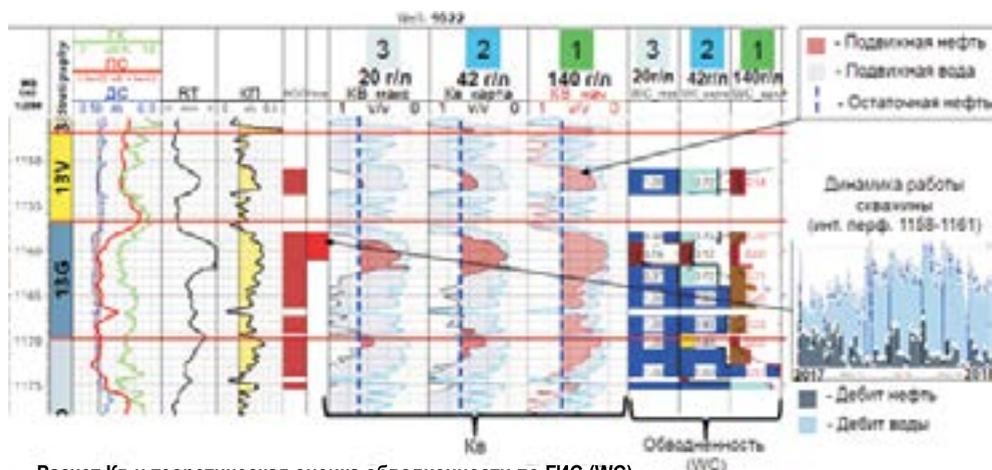
где $K_{в.подв}$ – насыщенность пор подвижной водой, $K_{н.подв}$ – насыщенность пор подвижной нефтью,

$$K_{в.подв} = K_v - K_{во'}$$

$$K_{н.подв} = 1 - K_v - K_{но}$$

Коэффициент остаточной водонасыщенности $K_{во}$ определен в зависимости от коэффициента пористости K_p для пластов 13–18 горизонтов (путем центрифугирования). Замеры коэффициента остаточной нефтенасыщенности $K_{но}$ в связи с низким коэффициентом корреляции зависимости от коэффициента пористости K_p усреднены для пластов 13–18 горизонтов (замеры ОФП).

Значения текущей минерализации пластовой воды, снятые с карт, рекомендуется использовать при интерпретации насыщенности только в коллекторах, значительно подверженных влиянию разработки, в случае же отсутствия замеров текущей минерализации пластовой воды использование минимальной величины минерализации пластовой воды применимо как рискованный вариант прогнозной обводненности. Для оценки K_v коллекторов, подверженных влиянию разработки в незначительной степени, рекомендуется использование значения начальной минерализации пластовой воды. Данная методика позволяет более точно прогнозировать обводненность по ГИС (рис. 4).



Расчет K_v и теоретическая оценка обводненности по ГИС (WC)

- 1 При начальной минерализации пластовой воды
- 2 При минерализации пластовой воды с карты
- 3 При минимальном значении минерализации пластовой воды

Рисунок 4. Пример планшета ГИС после обработки с учетом данных текущей минерализации пластовой воды

Локализация ОИЗ по данным РИГИС

В 2016–2019 гг. пробурено 495 скважин, которые являются точками

наблюдения за текущим насыщением пласта (рис. 5).

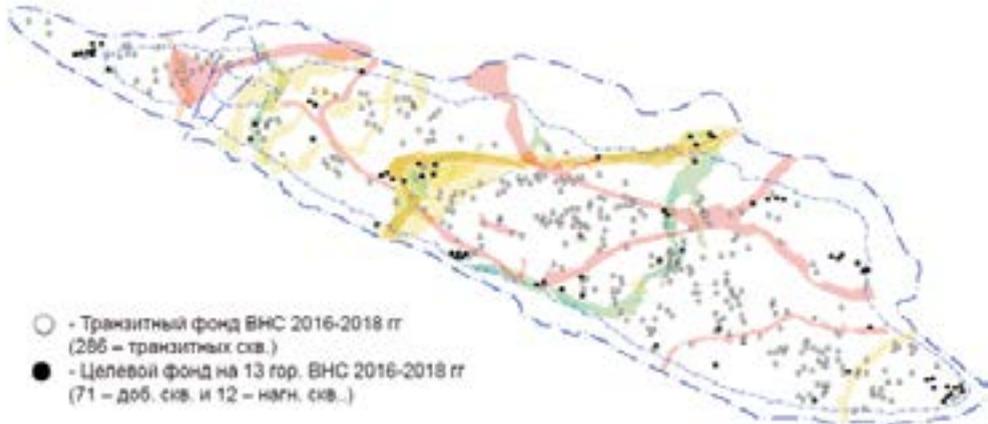
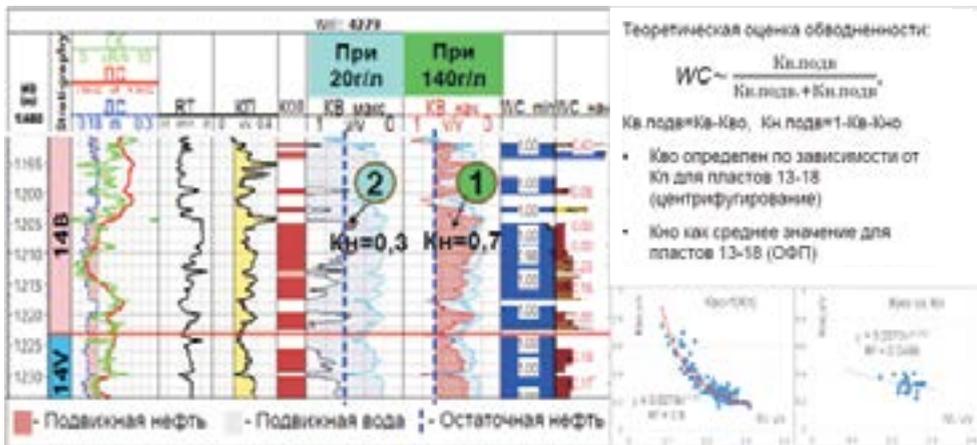


Рисунок 5. Карта расположения скважин, пробуренных в 2016-2019 гг.

В каждой скважине, в которой проведен ГИС, существует неточность оценки насыщенности пласта (рис. 6). Основная причина – неопределенность текущей ми-

нерализации пластовой воды (начальная минерализация пластовой воды 143 г/л, минерализация закачиваемой воды 22 г/л).



- 1 При минерализации 140 г/л (начальная пластовая вода) нефтенасыщенность ~ 0,7 д.ед.
- 2 При минерализации 2 г/л (морская вода для сист. ППД) нефтенасыщенность ~ 0,3 д.ед.

Рисунок 6. Неопределенность при интерпретации ГИС

Исходя из статистики замеров минерализации (1574 шт.), выполненных в течение последних трех лет (2016–2019 гг.), среднее значение минерализации по верхним пластам (13–18 горизонты) значительно отличается от начальной, что говорит о том, что текущая минерализация пластовой воды в 13–18 горизонтах

претерпела значительное изменение под воздействием длительной разработки месторождения [4]. Данный факт является подтверждением необходимости выполнять замеры минерализации пластовой воды и использовать текущую минерализацию при интерпретации РИГИС в новых скважинах.

Для уменьшения неточности выполнено построение карты минерализации

по горизонтам и с разбивкой по пачкам на примере 14 горизонта (рис. 7 и 8) [2, с. 177].

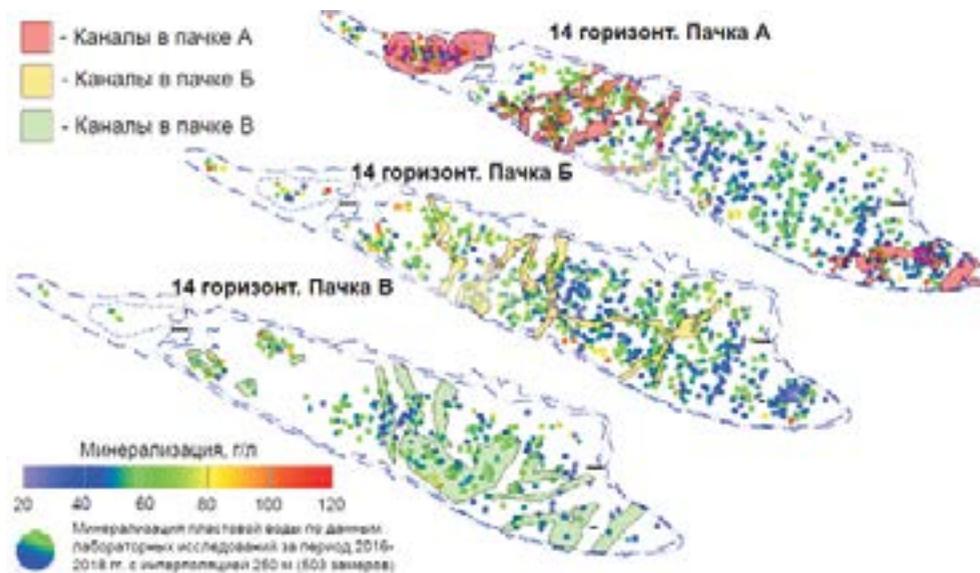


Рисунок 7. Карта минерализации воды по 14 горизонту с разбивкой по пачкам А, Б, В

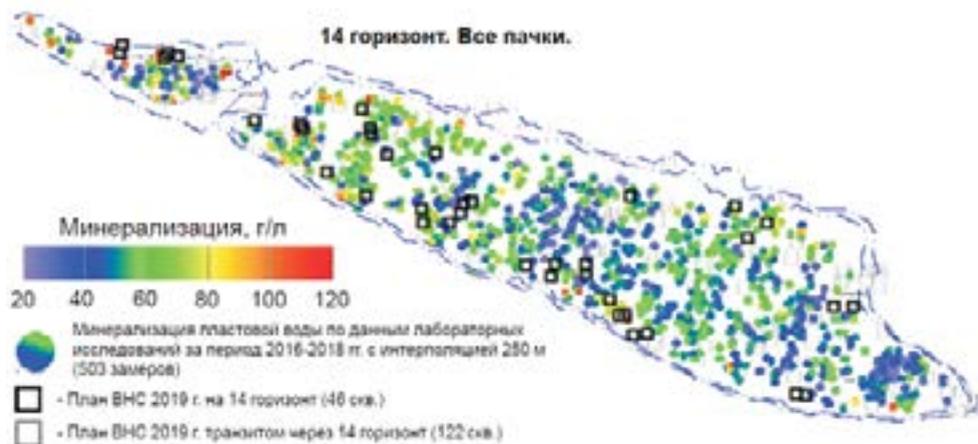


Рисунок 8. Карта минерализации воды в целом по 14 горизонту

Наблюдается значительное изменение минерализации по площади от начальной пластовой (143 г/л), в основном в краевых частях месторождения, до морской (20 г/л) в зонах для активной разработки с воздействием заводнения.

Данные значения с карты минерализации использовались для интерпре-

тации ГИС в скважинах, пробуренных в 2016–2019 гг.

Для этого построены карты выработки запасов по данным РИГИС с учетом текущей минерализации по горизонтам и пачкам на примере 14 горизонта (рис. 9), которые выполнены на основании РИГИС по 321 скважине, пробуренной в период

2016–2019 гг., и вскрывающие 14 горизонт с переинтерпретацией насыщенности с использованием текущей минерализации

на основе карт, построенных по результатам замеров минерализации в 2018 г.



Рисунок 9. Карта выработки начальных извлекаемых запасов по 14 горизонту с разбивкой на пачки по данным РИГИС с учетом текущей минерализации по данным замеров

Локализация ОИЗ по данным геологии и разработки

Второй подход к локализации ОИЗ заключается в построении комплексных карт на основе геолого-промысловых данных (геолого-физическая характеристика пласта: группы коллекторов, ФЕС, неоднородность по вертикали, расчлененность; данные разработки: плотность сетки скважин, коэффициент вскрытия пласта перфорацией по вертикали) и карт, построенных на основе распределения электрофаций.

На текущей стадии коллекторы с высокими ФЕС подвержены влиянию разработки в значительной степени, при этом зоны с низкими ФЕС обладают высокими остаточными запасами нефти.

Реализованы два инструмента для решения задачи выделения зон с низкими ФЕС, наименее подверженных разработке:

- 1) Комплексные карты геологии и разработки;
- 2) Карты распределения электрофаций.

Комплексные карты геологии и разработки

Для построения комплексных карт геологии и разработки на месторождении Узень выделены группы коллекторов с различными свойствами. На рис. 10 представлено выделение групп коллекторов с высокими и низкими ФЕС по 13 горизонту.

Анализ статистики обводненности по 13 горизонту показывает, что 49% фонда с обводненностью менее 80% работают в коллекторах с ухудшенными ФЕС, в то же время 29% фонда с обводненностью менее 80% эксплуатируются в коллекторах с высокими ФЕС. Таким образом, скважины в областях с высокими ФЕС, таких как каналы и конусы выноса, более обводнены.

Порядка 50% начальных извлекаемых запасов (далее – НИЗ) приходится на коллекторы с ухудшенными ФЕС и 50% НИЗ – на коллекторы с улучшенными ФЕС. Площадь сетки скважин в зонах с ухудшенными ФЕС 21,2 га/скв, в зонах с улучшенными 13,5 га/скв. Выработка в лагунах составляет 76%, в каналах – 85%.

Средняя обводнённость в лагунах – 88%, в каналах – 92%. Промытый поровый объем в лагунах – 75%, в каналах – 115% при

КИН 28% и 38% соответственно. Данные факторы указывают на перспективность коллекторов с ухудшенными ФЕС.

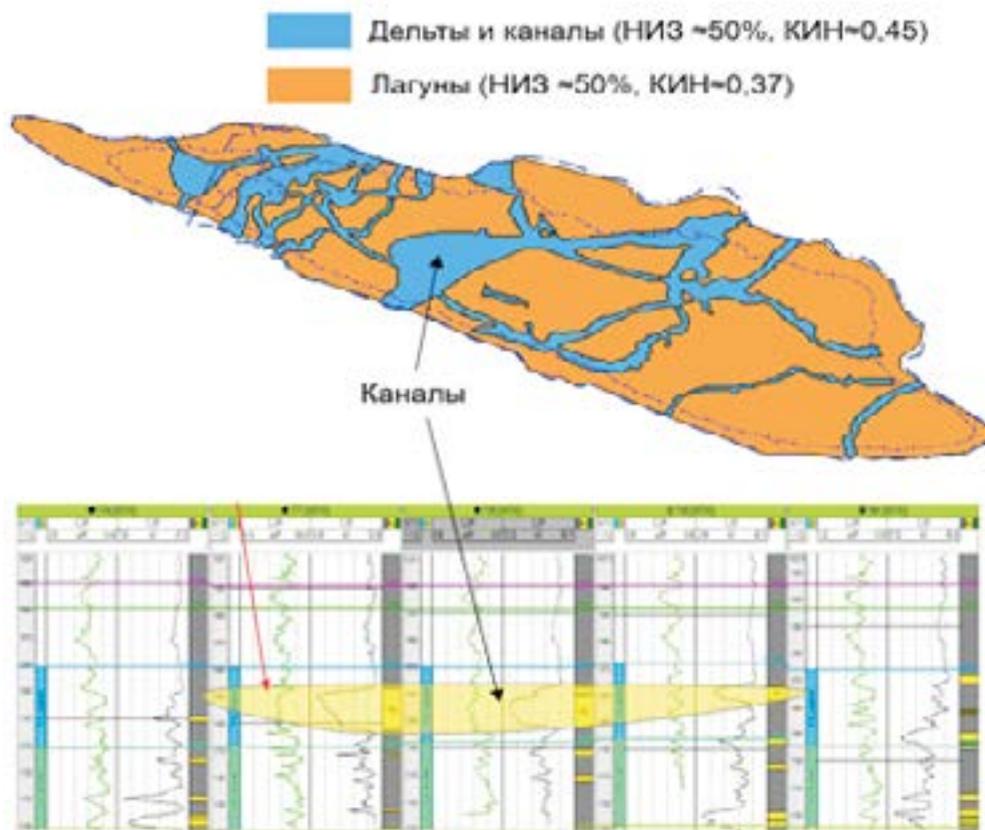


Рисунок 10. Распределение запасов по группам коллекторов

Карты вероятности локализации ОИЗ построены с целью определения площадного размещения остаточных запасов. В основу методики построения карт положено предположение, что остаточные зоны локализованы в областях, не

охваченных разработкой по технологическим и геологическим причинам. Поэтому карта вероятности локализации является результатом синтеза карт геологических и технологических параметров.

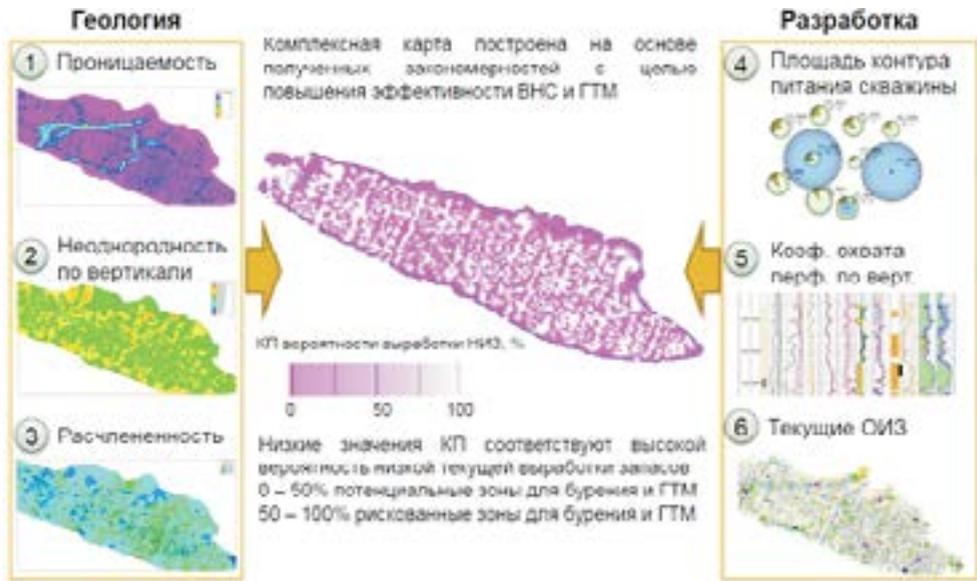


Рисунок 11. Карта комплексного параметра

Для каждого горизонта были построены карты проницаемости коллектора, неоднородности ФЕС по вертикали, расчлененности пласта, площадей контура питания, карта охвата перфорации по вертикали и текущих ОИЗ. После построения карт проводилось отсечение экстремумов и некорректных значений. Полученные карты нормировались от 0,1 до 1,0 с учетом их влияния на выработку запасов. Далее произведено перемножение

(комплексирование) всех участвующих параметров и построены карты вероятности локализации ОИЗ (рис. 11).

Карта комплексного параметра позволяет выявить наиболее потенциальные и перспективные зоны коллекторов с низкими ФЕС и малым охватом с целью вовлечения в разработку путем планирования ГРП на переходящем фонде, а также бурения новых скважин с ГРП (рис. 12).

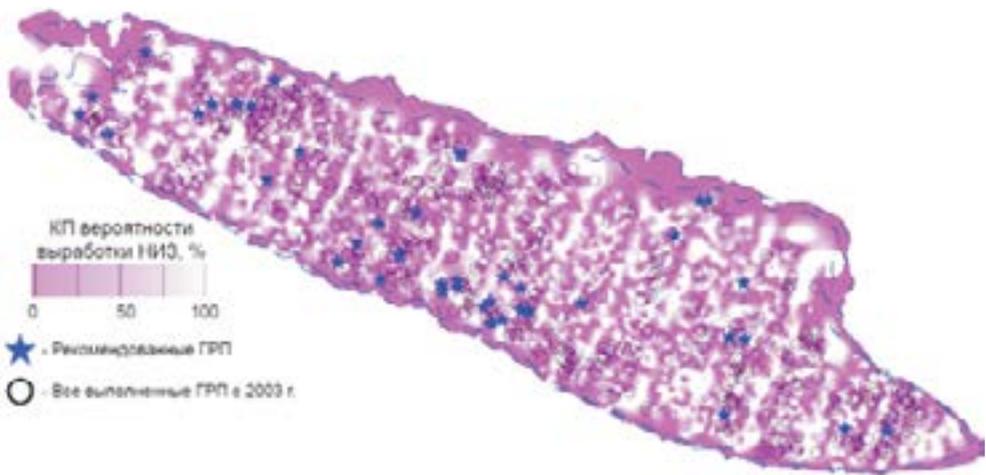


Рисунок 12. Карта комплексного параметра при планировании ГРП

Карты сейсмо-электрофаций

Комплексный анализ сейсмозаведки, ГИС, керн и данных разработки позволяет выделить следующие электрофации, характеризующиеся различной динамикой выработки:

- Выделено 4 электрофации (в порядке убывания ФЕС);
- Электрофации № 1, 2, 3 представлены преимущественно чистыми алевро-песчаными породами, накопившимися в активных гидродинамических обстановках средней и верхней прибрежно-морской зоны (палеоруслу, прирусловые тела, бары, отмели);
- Электрофация № 4, преимущественно, представлена более глинистыми алев-

ро-песчаными породами, связанными с межруслово-лагунными областями, накопившимися в менее активных гидродинамических обстановках.

Области низких ФЕС определяются с помощью данных ГИС. Электрофации № 1, 2, 3 соответствуют регионам с высокими ФЕС, электрофация № 4 соответствует регионам с низкими ФЕС. Это подтверждается распределением проницаемости по электрофациям – наименьшие значения проницаемости до 10 мД характерны для электрофации № 4. Карта электрофаций согласуется с расположением песчаных тел, определяемых по результатам сейсмике, эффективным толщинами и данными добычи.

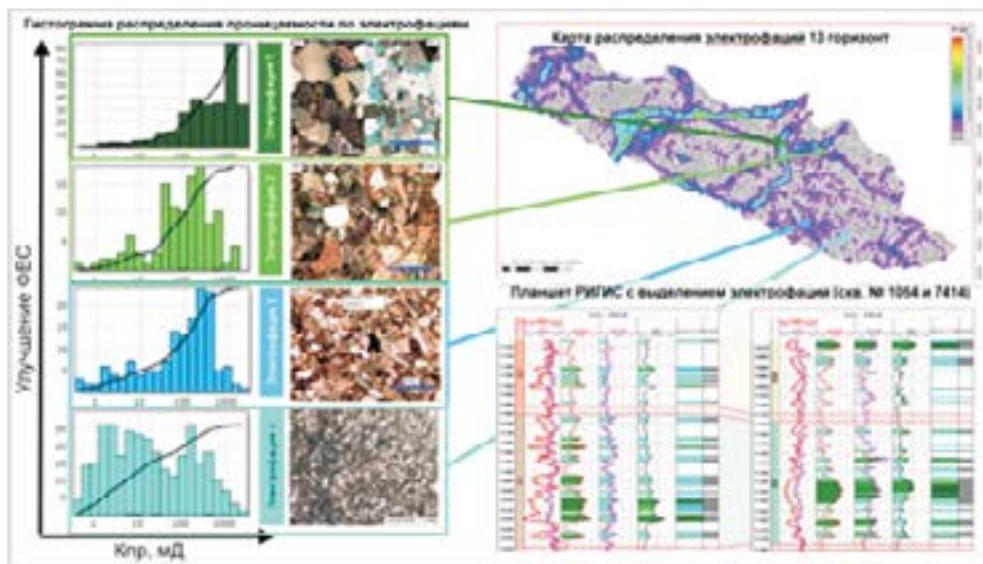


Рисунок 13. Выделение электрофаций

Полученная карта толщин коллекторов с ухудшенными ФЕС позволяет выделить регионы, которые подвергались

незначительной разработке и являются наиболее перспективными для планирования бурения, планирования ГТМ.

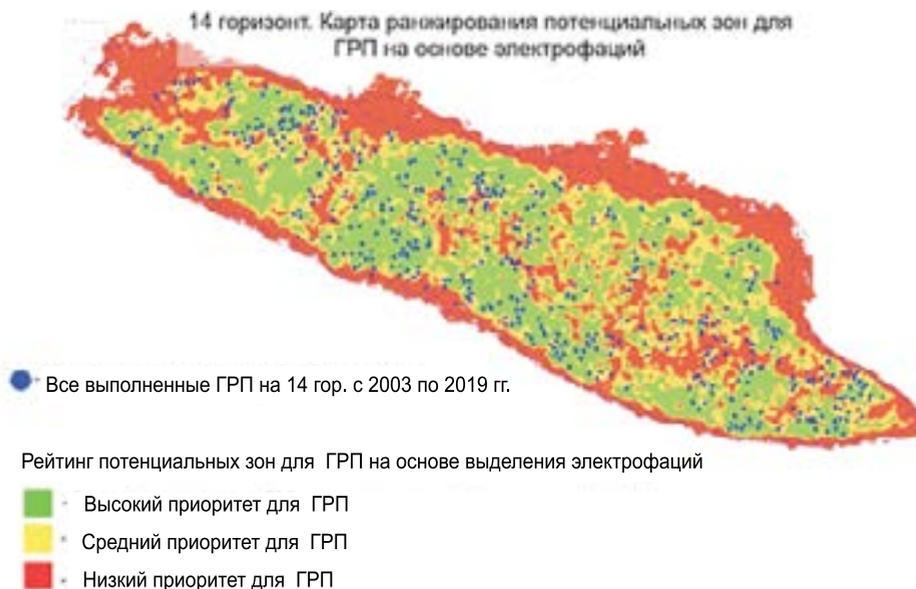


Рисунок 14. Карта толщин коллекторов с ухудшенными ФЕС (электрофация № 4) по 14 горизонту

Выводы и рекомендации

Анализ промысловой информации выявил значительные флуктуации показателей обводненности по скважинам.

Отсутствует зависимость текущей обводненности по действующим скважинам от выработки запасов в зоне отборов.

Данные проблемы значительно влияют на планирование, прогнозирование и успешность нового бурения и ГТМ.

Применение методов локализации ОИЗ, указанных в данной работе, позволяет выделить и ранжировать зоны для проведения ГТМ в зависимости от вероятности нахождения запасов с учетом геологического строения залежей и влияния разработки на продуктивные пласты.

Разработанные инструменты значительно сокращают временные затраты на планирование ГТМ, так как отпадает необходимость просмотра всего фонда скважин и всех площадей месторождений, что представляется затруднительным на крупных месторождениях.

Использование карт выработки запасов, карт комплексных параметров, карт коллекторов с ухудшенными ФЕС обеспечивает инженерное обоснование для подбора ГТМ и прогнозирования показателей работы скважин после ГТМ.

На основе полученных карт локализации ОИЗ становится возможным формирование стратегии разработки зон с высокими ФЕС и низкими ФЕС.

Список использованной литературы

1. Лысенко В.Д. Разработка нефтяных месторождений. Проектирование и анализ. – ООО «Недра-Бизнесцентр», М., 2003, 638 с.
2. Don Wolcott. Applied Waterflood Field Development. – Energy Tribune Publishing Inc., 2009, 417 p.
3. Проект разработки месторождения Узень (13–18 горизонты). – «КазНИПИмунайгаз», Актау, 2006.

4. Проект разработки месторождения Узень (нефть) (основной свод, Хумурунский, Парсумурунский, Северо-западный купола). – «КазНИПИмұнайгаз», Актау, 2007.

**ӨЗЕН МҰНАЙ КЕН ОРНЫНЫҢ МЫСАЛЫ РЕТІНДЕГІ ЖАҢА ОПЕРАЦИЯЛЫҚ ШАРТТАРЫ
БОЙЫНША ТИІМДІ РЕСУРСТАРДЫ ОРНАЛАСТЫРУДЫ ҚОЛДАНУ
А.Е. Ибраев, А. Қажыкенқызы, А.С. Елемесов, А.Ж. Назаралы**

Түйіндеме

Таңдалған тақырыптың өзектілігі геологиялық және инженерлік жоспарлаудың сапасын жақсарту қажеттілігімен және геологиялық-техникалық шаралардан кейін дамудың негізгі кезеңіндегі негізгі көрсеткіштерді болжау қажеттілігімен байланысты. Бұл кен орынның гетерогенді геологиялық қасиеттеріне және дамудың ұзақ мерзімді әсеріне байланысты геологиялық ақпарат жүйесін локализациялау қиындықтарымен күрделенеді.

Түйінді сөздер: геологиялық ақпаратты локализациялау, геологиялық және техникалық шараларды жоспарлау, ГАЗ әдісін түсіндіру, минералдану карталары, геология мен дамудың кешенді карталары.

**APPROACH TO LOCALIZATION OF RESIDUAL RECOVERABLE RESERVES UNDER CONDITIONS
OF HIGH DEPLETION ON THE EXAMPLE OF UZEN FIELD
A.E.Ibrayev, A. Kazhykenkyzy, A.S. Yelemesov, A.Zh. Nazaraly**

Abstract

The relevance of the chosen topic is contingent on necessity to improve the quality of geotechnical jobs planning and forecasting of key performance indicators after a well intervention at a late stage of development, complicated by the difficulties of residual recoverable reserves localization due to the heterogeneity of geological properties of a field and the long-term impact of development on reservoir.

Key words: localization of residual recoverable reserves, planning of geological and technical measures, well logging interpretation, maps of mineralization, complex maps of geology and production.

Информация об авторах

Ибраев Актан Ермекович – ведущий инженер департамента разработки месторождений, *a.ibrayev@niikmg.kz*

Қажыкенқызы Асия – магистр нефтегазовых наук, ведущий инженер департамента разработки месторождений, *a.kazhykenkyzy@niikmg.kz*

Елемесов Азамат Серикович – заместитель директора департамента разработки месторождений, *ayelemesov@niikmg.kz*

Назаралы Азамат Жақсылықұлы – инженер департамента разработки месторождений, *a.nazaraly@niikmg.kz*

ТОО «КМГ Инжиниринг», г. Нұр-Сұлтан